

# SmartDoumi: 서비스로봇의 하이브리드 제어구조

최경현\* · 박태호\*\*

## SmartDoumi: Hybrid Control Architecture of Service Robot

Kyung-Hyun Choi\* and Tae-Ho Park\*\*

### ABSTRACT

This paper addresses a hybrid control architecture for the hospital service robot, Smart Worker. In hybrid architecture, the deliberation takes place at planning layer while the reaction is dealt through the parallel execution of operations. Hence, the system presents both a hierarchical and an heterarchical decomposition, being able to show a predictable response while keeping rapid reactivity to the dynamic environment. In order to model the control behavior of this controller, this paper also proposes MuLOM(Muti-Layered Operation Model). Moreover, through simulation under a virtual environment IGRIP, the effectiveness of hybrid architecture and MuLOM is verified.

**Key Words** : Service robot, Control architecture, Virtual environment, Object-oriented paradigm

### 1. 서론

향후 5년을 전후하여 로봇분야에서 시장수요가 급증할 것으로 예상되는 분야로서 서비스로봇(service robot)분야를 들 수 있다. 서비스로봇의 시장은 의료, 건설, 공공복지, 오락, 예완용 등의 용도로 형성될 것이 예상되며, 점차 일상생활에서 인간을 대신 또는 보조하는 역할을 담당할 것으로 기대하고 있다. 또한, 서비스로봇을 위한 연구는 선진국에서도 개발단계 초기에 있으므로 이에 대한 적극적인 투자와 연구개발

을 통하여 세계적인 기술적 기반확보가 상대적으로 용이하며, 개발된 기술은 로봇의 지능화와 활용이 기대된다.<sup>1,2)</sup>

특히, 의학기술의 발달과 더불어 전세계의 인구의 평균연령이 고령화됨에 따라 병원용 서비스로봇의 중요성도 나날이 커지고 있다. 한국의 경우 65세 이상의 노인의 수가 1960년도에는 72만 6천명, 1970년도에는 99만 1천명, 1980년도에는 1백 42만 6천명, 1990년도에는 2백 19만 5천명, 2000년에는 3백 37만 1천명으로 계속증가하고 있으며 2010년에는 전체인구의 10%에 도달할 것으로 추정된다.<sup>3)</sup>

병원용 서비스 로봇의 주된 목적은 환자를 보호하거나 고도의 사고를 필요로 하지 않는 단순한 반복작업을 수행함으로써 의료종사자들의 역할을 보조하는 것이다. 이를 성공적으로 수행하기 위해서는 인간의 두뇌작용에 해당하는 지능제어 시스템과 이를 바탕으

\* 제주대학교 기계에너지생산공학부, 산업기술연구소  
Faculty of Mech., Energy, & Prod., Engineering, Res. Inst. Ind. Tech., Cheju Nat'l Univ.

\*\* 부산대학교 지능기계공학과 대학원  
Department of Intelligent and Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.

로 한 자율기능, 높은 수준의 인간과 로봇과의 통신을 위한 적절한 인터페이스, 고기능 센서를 이용한 감각기능, 로봇의 활동범위를 넓혀주는 이동기능, 임무수행을 위한 처리 기능 등을 들 수 있다.<sup>45)</sup>

이러한 다양하고 복잡한 작업을 수행하기 위해서는 지능제어기의 도입이 요구된다. 본 논문에서는 병원용 서비스 로봇(SmartDoumi)을 위한 하이브리드 제어구조를 제안하고자 한다. 이 제어구조는 Reactive 제어와 Deliberation 제어를 혼합한 형태이며, 모델링을 위한 방법론으로 객체지향 접근법을 이용하였다.

## II. 병원용 서비스 로봇(SmartDoumi)

병원용 서비스 로봇의 주된 임무는 물건의 식별 및 집기, 문이나 서랍의 열고 닫음, 복도 주행, 엘리베이터 이용, 원하는 지점으로의 물건 운반 등을 들 수 있다. 이러한 임무들의 수행을 위해서 개발된 서비스 로봇인 SmartDoumi가 Fig. 1에 보여진다. SmartDoumi는 정확한 위치로 이동을 담당하는 이동부(Mobile module), 작업을 수행하기 위한 매니플

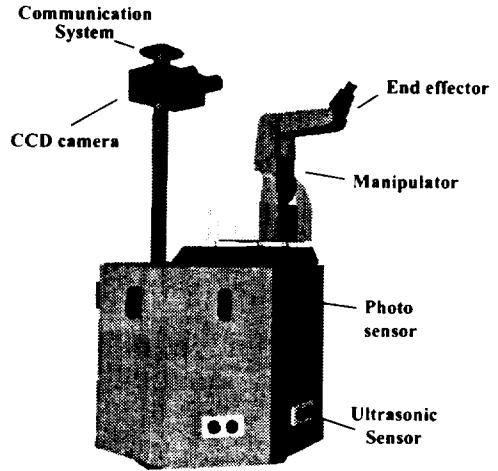


Fig. 1 Hardware components of SmartDoumi

레이터(Manipulator), 환경인식이나 이동에 필요한 센서부, 마지막으로 호스트 센터와 통신을 담당하는 통신모뎀으로 이루어져있다.

SmartDoumi 제어기는 Fig. 2에 보는바와 같이 온보드제어기(On-board controller)와 오프보드제어기(Off-

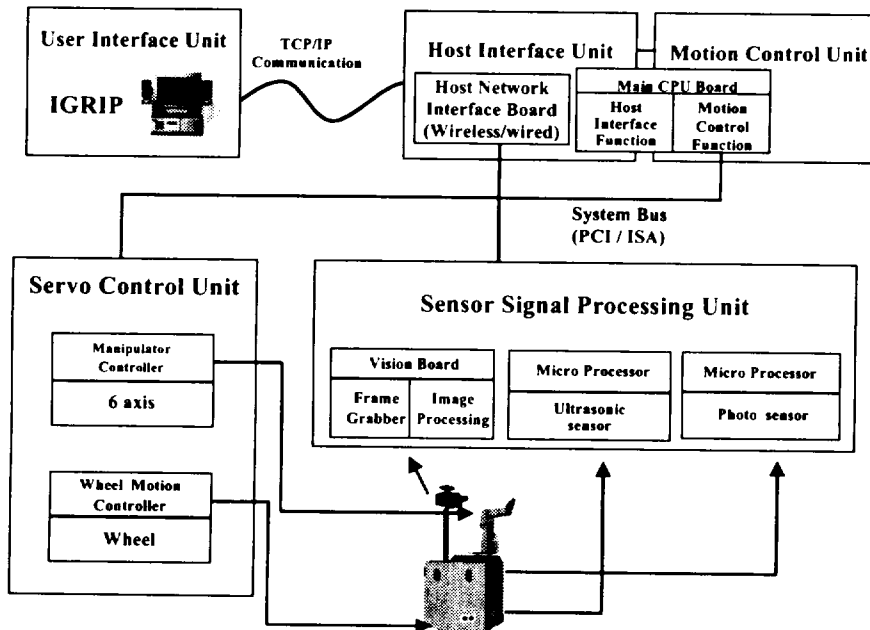


Fig. 2 Schematic diagram of service robot controller

board controller)로 구성되어있다. 오프보드제어기는 User Interface부로 IGRIP의 가상환경에서 SmartDoumi의 작업 실행 및 운전 모니터링 기능 등을 담당하며, 작업 명령을 전송하기 전에 시뮬레이션을 통하여 미리 검증할 수 있는 기능을 가지고 있다.

온보드제어기는 SmartDoumi에 장착되어 있으며, Host Interface부, 동작제어부, 서보제어부, 센서 신호처리부가 유기적인 결합을 통하여 오프제어기에서 주어진 명령을 수행한다. Host Interface부는 오프라인 제어기로부터 명령을 전송 받거나 SmartDoumi의 현재 상태를 알려주는 기능을 가지고 있으며, 통신을 위해 TCP/IP 프로토콜을 사용하고 있다.

동작제어부는 명령어의 해석과 궤적 계획 및 실시간 제어를 담당하는 SmartDoumi 제어기의 핵심부이며, Reactive 제어와 Deliberation 제어를 동시에 구현하는 하이브리드 제어구조를 가지고 있으며, 온보드 컴퓨터 메인 보드에서 소프트웨어로 처리된다.

서보제어부는 SmartDoumi의 각 관절부의 위치나 토크 등의 명령치를 동작 제어부로부터 전달 받아 모터의 위치제어나 토크 제어 기능을 수행한다.

센서 신호처리부는 SmartDoumi의 동작 제어를 위

한 센서 신호를 처리하는 부분으로 시각기능을 위해 image frame grabber 및 실시간 영상처리모듈 등의 하드웨어를 내장하고 물체의 위치/자세 정보를 동작 제어기로 전달한다. SmartWoker에서는 장애물 회피나 자체의 위치 정보 추출을 위하여 초음파, 포토센서, Gyro 신호 처리 기능을 가지고 있다.

### III. 하이브리드 제어구조

일반적인 이동로봇의 주행을 위해 behavior에 기반을 둔 Reactive제어를 사용하고 있다. 이러한 제어 구조는 센서에 의한 액추에이터의 반응을 유한하게 정의하여 주행에서 일어나는 행위를 실시간으로 처리할 수 있다. 그러나, 복잡한 계획이 요구되는 작업에는 적절하지 않는 단점을 가지고 있다.

반면에, 지식베이스에 근거를 두는 추론기능을 가지고 궤적을 계획하고 수행하는 Deliberation 제어 구조는 전통적인 계층적인 제어 구조로서, 복잡한 작업에서도 전반적인 최적화를 이룰 수 있다. 그러나, 계획, 스케줄링 및 실행을 수행하는 여러 단계를 거쳐

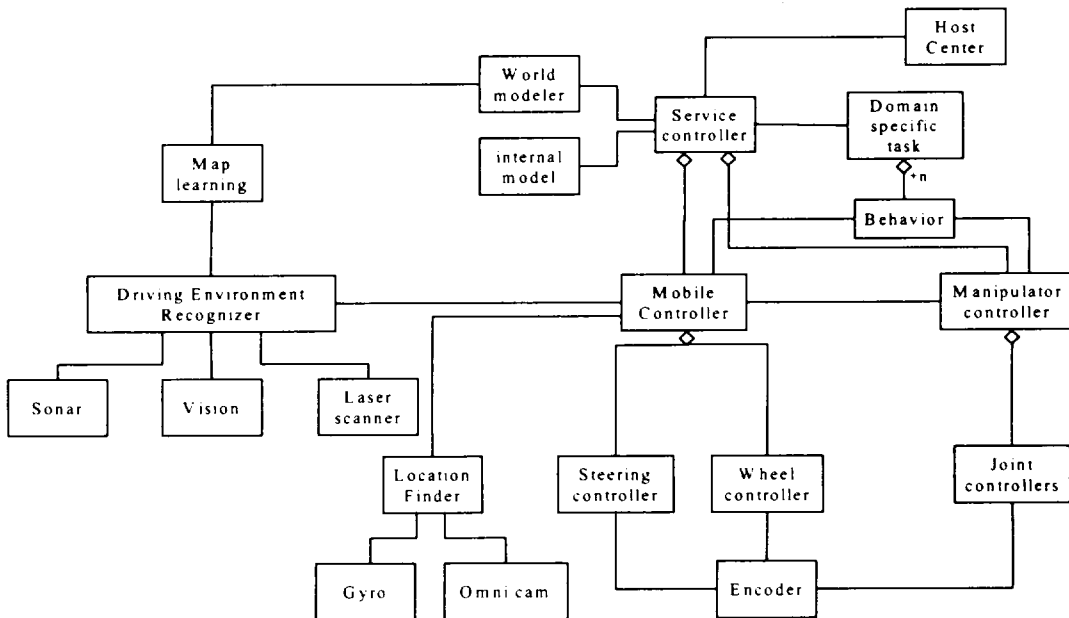


Fig. 3 Hybrid control architecture for SmartDoumi

야하기 때문에 실시간 제어에 단점을 가지고 있다.<sup>6)</sup>  
 본 연구에서는 두 제어 구조의 장점을 살릴 수 있는 하이브리드 제어 구조 Fig. 3과 같이 객체 지향접근법으로 개발하였다. 최상위 레벨의 제어기인 Service Controller는 수행해야 할 작업을 계획하고, 여러 센서의 입력을 융합하여 작업 환경을 갱신한다. 또한, SmartDoumi 자체의 내부 모델을 수정하여, 작업 계획의 에러를 최소화한다.

실시간을 위한 Reactive 제어는 Mobile Controller와 Manipulator Controller의 두 제어기에 의해서 이루어진다. 전자의 제어기는 이동 주행을 담당하며, 후자는 작업 처리를 위한 매니플레이터 제어를 담당한다. 이들 두 제어기는 주어진 작업의 원활한 수행을 위해 서로 연동하는 관계를 가지고 있다.

센서 처리부로부터 입력을 받은 후 Location Finder객체에 의해 SmartDoumi의 현재위치와 자세(orientation)를 인지할 수 있으며, Driving Environment Recognizer객체를 통하여 주변 환경을 인지하여 환경 맵(map) 갱신을 구현한다.

#### IV. 오퍼레이션 모델 : MuLOM

각 제어기의 제어 행위를 모델하기 위해 MuLOM (Multi-layered Operation Model)을 개발하였다. Fig. 4에서 보는바와 같이 MuLOM의 기본적인 구조는 오퍼레이션을 중심으로 상태와 사건으로 구성되어있다. 오퍼레이션과 상태는 다중층(Multi-layer)으로 표시할 수 있다. 즉 Service Controller에서 오퍼레이션의 관리와 선정을 하고, 하위 레벨의 두 제어기에서는 주어진 오퍼레이션을 동기화를 실현하면서 수행하게 된다. Mobile Controller에서는 상세한 behavior 모델로 묘사된다. SmartDoumi의 모든 오퍼레이션은 로봇 프로그램으로 여겨질 수 있다. 그러므로 작업의 변경이 프로그램의 재 설정에 의해 구현 될 수 있기 다양한 서비스 작업을 구현할 수가 있다.

MuLOM은 아래와 같이 5-tuple로 정의된다.

- $\{ S, E, C, T, A \}$   
 $S$  작업 사이의 상태들의 집합

- $E$  일련의 사건 분류의 집합  
 $C$  통신 채널의 집합  
 $T$  각 작업에서 수행하는 오퍼레이션  
 $A$  기본 행위들의 집합

기본 행위는 다시 다음의 6개로 정의되어진다.

- $\{ S_i, G, M, O, Co, S_f \}$   
 $S_i$  시작 상태  
 $G$  통신 수행의 성공여부를 나타내며 불린(boolean)값을 갖는다  
 $M$  채널을 통한 사건의 전달  
 $O$  상태들 사이에서 수행하는 작업 오퍼레이션의 이름과 제한시간을 둔다  
 $Co$  작업 수행의 성공여부  
 $S_f$  목적상태

Fig. 4에서  $S_1$ 상태에서  $S_2$ 상태로 가기 위해서는 오퍼레이션을 수행해야 하는데 우선  $S_1$ 에서 통신채널  $C$ 를 사용해서 메시지  $m_{h1}$ 을 받고 나면 오퍼레이션을 수행하게 된다. 여기서 작업시간을 체크하는 time-bound를 주어서 일반적으로 오퍼레이션 수행중에 생기는 에러를 발견 할 뿐만아니라 deadlock을 방지 할 수가 있다. 오퍼레이션의 수행이 끝나면 채널  $C$ 를 통해 보고를 하고  $S_2$ 상태로 천이된다.

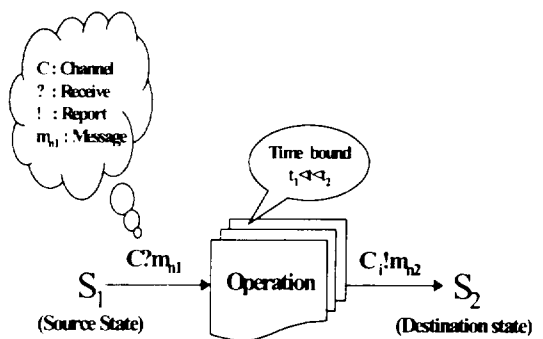


Fig. 4 MuLOM basic structure

#### V. 시뮬레이션

개발된 오퍼레이션 모델을 하이브리드 제어구조에서 구현하기 위해 IGRIP을 이용하여 간단한 시뮬레

이션을 했다. 모델링된 여러 개의 방을 가진 가상의 병원에서 SmartDoumi가 수행하는 작업은 현재방에서 출발하여 엘리베이터를 타고 위층으로 올라가는 것이다. 여기서, Service Controller에 의한 제어를 위해 상세한 통신 채널 및 메시지는 표기를 생략한 오퍼레이션 모델은 Fig. 5와 같다. 박스는 수행하는 행위를 나타내고, 원은 행위를 한 후의 상태를 나타낸다.

로봇이 엘리베이터를 타기 위해 현재의 방에서 문을 통하여 나와 엘리베이터 버튼을 누르는 지점까지

간 후 버튼을 누르고(Fig. 6) 엘리베이터문이 열릴 때까지 기다린다. Vision 시스템에 의하여 문이 열린 것이 인식되면 로봇이 엘리베이터를 타게 된다. 이러한 로봇의 단계별 행동계획들은 Service Controller에 의해서 제어된다.

이동주행을 위한 behavior는 오퍼레이션 "Moving to elevator button" 수행을 위해 Reactive 제어에 의하여 충돌회피를 구현한 자율주행(Fig. 7)을 수행할 수 있다.

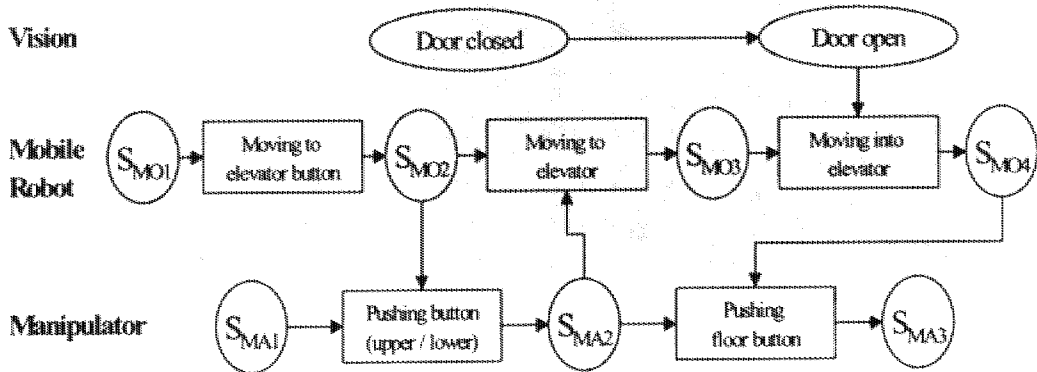


Fig. 5 Operation model for service controller

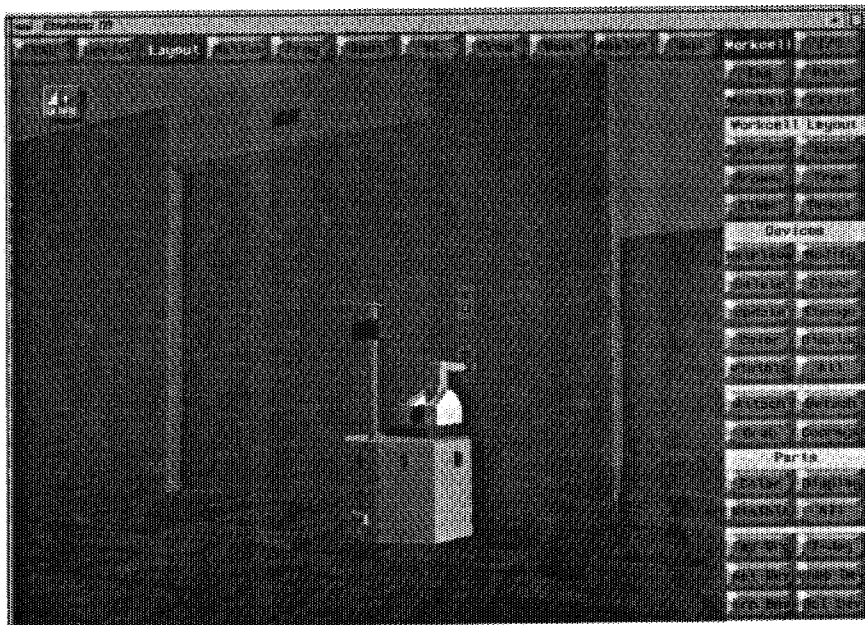


Fig. 6 SmartDoumi pushing elevator button

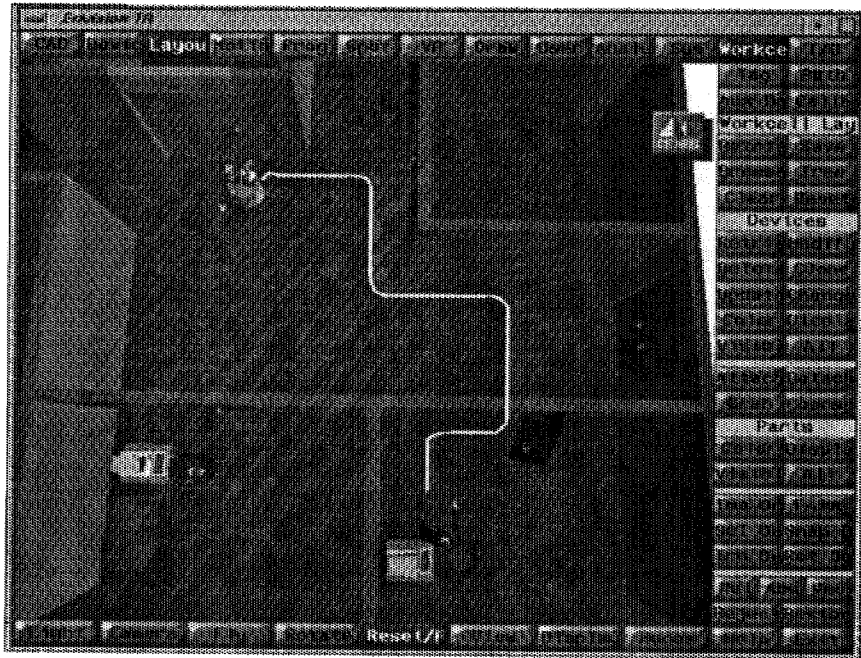


Fig. 7 SmartDoumi driving path under virtual hospital model

## VI. 결론

본 논문에서는 병원용 서비스 로봇인 SmartDoumi를 위한 Reactive 제어와 Deliberation 제어를 동시에 구현하는 하이브리드 제어구조를 개발하였고, 이러한 제어기의 제어행위를 모델하기 위하여 MuLOM (Multi-layered Operation Model)을 고안하였다. 또한 IGRIP을 이용하여 가상환경에서의 시뮬레이션을 통하여 하이브리드 제어구조와 MuLOM의 효용성을 검증해 보았다.

## 참고문헌

- 1) M. Meng, C. Chen, P. X. Barrow, M Rao, 2000. E-Service Robot in Home Healthcare. Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.256-260.
- 2) H. Lee, W. Song, Z Bien, 2000. Service Robot System for Human Welfare. *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*. Vol. 17. No.2, pp.112-121.
- 3) 보건 복지 백서, 대한민국 보건복지부, 1997.
- 4) E. Ettelt, R. Furtwangler, U. D. Hanebeck and G. Schmidt, 1998. Design Issues of a Semi-Autonomous Robotic Assistant for the Health Care Environment. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.12, No.6, pp.89-95.
- 5) H. R. Everett, 1995. *Sensors for Mobile Robots: Theory and Application*, A K Peters, MA.
- 6) P. Ridao, J. Yuh, J. Batlle, K.Sugihara, 2000. On AUV Control Architecture. Proceedings of the 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.568-572.
- 7) M. A. Abidi, R. C. Gonzalez, 1992. *DATA FUSION in Robotics and Machine Intelligence*. Academic Press.